

**ANALISIS SIFAT MEKANIK TULANGAN BETON PASCA BAKAR
(SEBAGAI BAHAN PENGAYAAN MATA KULIAH
BAHAN BANGUNAN DAN STRUKTUR BETON)**

Agus Santoso

(Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan FT UNY)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis besarnya tegangan leleh tulangan beton bertulang yang dibakar pada suhu 600^o Celcius dan 900^o Celcius dengan tebal perlindungan beton 2 cm dan 4 cm. Diharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pengayaan pada mata kuliah Bahan Bangunan dan Struktur Beton .

Jenis penelitian ini adalah eksperimen dan pelaksanaannya dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Fakultas Teknik UNY, Laboratorium Struktur dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Gajah Mada. Jumlah sampel sebanyak 15 buah. Bentuk konstruksi beton berupa balok, dengan ukuran 15 x 20 cm dengan panjang 45 cm. Tulangan yang digunakan adalah tulangan baja polos berdiameter 10 mm dan begel diameter 6 mm sebagai bahan untuk merangkai tulangan. Analisis data menggunakan deskriptif kuantitatif dengan mencari harga reratanya.

Hasil penelitian yang diperoleh antara lain besarnya tegangan leleh tulangan sebelum dilakukan pembakaran= 385,12 MPa, setelah dibakar pada suhu 600^o Celcius dengan tebal perlindungan beton 2 cm sebesar 385,25 MPa, sedangkan untuk tebal perlindungan beton 4 cm sebesar 382,50 MPa. Besarnya tegangan leleh tulangan beton setelah dilakukan pembakaran pada suhu 900^o Celcius dengan tebal perlindungan beton 2 cm sebesar 374,97 MPa, sedangkan untuk tebal perlindungan beton 4 cm sebesar 377,48 MPa. Secara umum beton yang dibakar sampai dengan suhu sampai 900^o Celcius, tegangan lelehnya masih memenuhi persyaratan, yaitu masih dalam satu kelas (SII 0136-80) dan penurunan tegangan lelehnya sebesar 2,63%.

Kata kunci: sifat mekanik tulangan, beton pasca bakar

Pendahuluan

Kebakaran gedung pada akhir-akhir ini sering terjadi baik di kota besar maupun kota kecil. Hal ini dikarenakan adanya hubungan pendek arus listrik, kompor gas yang meledak maupun adanya gedung yang sengaja dibakar oleh masa. Gedung yang terbakar biasanya suhunya di atas 600⁰ Celcius.

Beton pada dasarnya tidak mampu menahan panas sampai di atas 250⁰ Celcius. Akibat panas tersebut beton akan berubah komposisi kimianya dan kehilangan kekuatan (Kardiyono, 2000). Kehilangan kekuatan terjadi karena perubahan komposisi kimia secara bertahap pada pasta semennya. Adapun retak akibat ketidakseimbangan perubahan volume antara pasta semen dan butir-butir agregat, sedangkan lepasnya bagian luar beton akibat ketidakseimbangan/perbedaan perubahan volume antara bagian luar beton yang panas dan bagian dalam beton yang dingin. Bila pasta semen dipanasi dari suhu kamar sampai sekitar 300⁰ C, kekuatannya akan sedikit meningkat, karena ketika di atas 100⁰ Celcius air bebas serta yang terserap dalam pasta menguap. Beton yang dipanasi pada suhu 400-600⁰ Celcius, maka kekuatannya akan mengalami penurunan. Selanjutnya jika beton terus dipanasi di atas 600⁰ Celcius, maka unsur hasil hidrasi yang lain berubah komposisi, sehingga kekuatan beton akan kehilangan kekuatan sama sekali.

Konstruksi beton bertulang terdiri dari beton dan tulangan. Pada saat beton terbakar, maka kondisi tulangan tergantung dari suhu panas yang ada serta tebal lindungan. Dalam SNI atau PBI 71 agar tahan terhadap kebakaran, maka tebal lindungan beton minimal sebesar 2 sampai 3 cm tergantung dari suhu dan jenis konstruksinya (PBI 71: 63). Semakin besar tebal lindungan beton, maka tulangan akan semakin terlindungi dari panas dari luar. Pada saat terjadi kebakaran, biasanya pemadaman dilakukan setelah 1 jam. Hal ini tergantung dari letak bangunan dan ketersediaan pemadam kebakaran yang ada. Bahan pemadam kebakaran biasanya menggunakan air, sehingga beton yang sedang terbakar dan dipadamkan secara mendadak dengan menggunakan air akan mengakibatkan perubahan secara phisik dan kimia pada tulangan, yaitu akan menjadi getas.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat mekanik tulangan beton bertulang pasca bakar dengan berbagai suhu dan berbagai tebal lindungan beton. Tebal lindungan beton yang digunakan adalah 2 cm dan 4cm, sedangkan beton bertulang dibakar pada suhu 600 dan 900⁰ Celcius dengan pembakaran masing-masing selama 1,5 jam dan 2 jam. Sifat mekanik yang diuji adalah tegangan leleh tulangan sedangkan beton yang digunakan mutu K225 serta pembakaran beton dilakukan setelah berumur 28 hari.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pengayaan pada mata kuliah Bahan Bangunan dan Struktur Beton.

Beton merupakan bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen, agregat dan air serta jika perlu ditambah dengan bahan *additive* atau *admixture* (Kardiyono, 1996), selain agregat alam seperti kerikil dan pasir, dapat digunakan alternatif lain yaitu agregat buatan seperti, bahan limbah beton dan bata pecah. Dalam SKSNI T-15-1991-03 beton didefinisikan sebagai campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk masa padat. Sedangkan pengertian beton bertulang adalah campuran dari semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, air dan ditambah baja tulangan.

Beton yang dipanasi sampai dengan suhu 200⁰ Celcius pada umur di atas 28 hari akan menyebabkan penguapan air (dehidrasi) dan penetrasi ke dalam rongga beton, sehingga akan memperbaiki sifat tekanan antar partikel C-S-H. Hasil peneltian dari Andang Wijaya (1999) yang dikutip oleh Sumardi (2000), bahwa beton yang dipanaskan dalam tungku pada temperatur 200⁰ Celcius akan meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur beton sekitar 10-15% dibandingkan dengan beton normal. Beton yang dipanasi sampai 500⁰ Celcius, akan menyebabkan penurunan kuat tekan beton dan kuat lentur hingga 50% dari beton normal (Priyosulistyo, 2000).

Berdasarkan hasil penelitian Bambang Suhendro (2000), beton yang dibakar sampai pada suhu 600⁰ Celcius, beton mengalami penurunan kapasitas lentur sebesar 23%. Pengurangan ini disebabkan oleh proses dekomposisi unsur C-S-H menjadi kapur bebas CaO, SiO₂ dan uap air (H₂O) Karena C-S-H merupakan unsur utama kekuatan beton, maka pengurangan jumlah C-S-H akan mempengaruhi kekuatan beton. Oleh karena itu temperatur lebih tinggi antara 500⁰ Celcius sampai dengan 1000⁰ Celcius terjadilah proses karbonisasi yaitu terbentuknya kalsium karbonat (CaCO₃) yang berwarna keputih-putihan, sehingga merubah warna beton menjadi lebih terang. Disamping itu pada temperatur ini terjadi penurunan lekatan antar batuan dan pasta semen yang ditandai dengan retak-retak dan kerapuhan beton (beton mudah dipecah dengan tangan).

Menurut Hansen TC (1976), bila beton dipanasi sampai 300⁰ Celcius warna beton akan berubah, yaitu menjadi merah muda. Jika dipanasi sampai 600⁰ Celcius, maka warna beton menjadi abu-abu agak hijau, sedangkan jika dipanasi sampai 1200⁰ Celcius, warna beton menjadi kuning. Dengan demikian secara kasar, dapat diperkirakan berapa suhu tertinggi selama kebakaran berlangsung berdasarkan warna beton pada pemeriksaan pertama.

Beton yang dibakar pada suhu di atas 300⁰ Celcius disamping mengalami penurunan sifat mekaniknya, beton akan mengalami

porous. Hal ini disebabkan karena beton yang dipanasi akan kehilangan air bebas maupun air yang sangat terikat erat dalam gel betonnya.

Demikian juga dengan beton bertulang yang terbakar, di atas 300⁰ Celcius maka akan berpengaruh terhadap bahan-bahan beton bertulang, seperti bahan pengikat, agregat maupun tulangan itu sendiri. Tulangan beton yang terbakar, akan berpengaruh terhadap sifat mekaniknya. Salah satu uji sifat mekanik tulangan yang merupakan indikator kualitas tulangan adalah uji tegangan leleh tulangan, tegangan maksimum dan regangannya.

Tebal lapisan beton perlu diperhatikan dalam konstruksi beton bertulang, karena tebal lapisan beton akan melindungi tulangan dari berbagai macam seperti kebakaran, air laut, pengaruh sulfat alkali dari tanah, berhubungan dengan uap atau gas-gas korosif dan sebagainya. Tebal lapisan beton terhadap kebakaran dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain suhu dan lama kebakaran. Untuk melindungi tulangan beton dari kebakaran, beton bisa dilapisi bahan seperti Plesteran gips vermi kulit atau bahan-bahan lain yang tahan terhadap api. Besarnya lapisan pelindung seperti terlihat dalam tabel 2 berikut (PBI 1971).

Tabel 1. Beberapa lapis pelindung yang dapat memperpanjang ketahanan dalam kebakaran kira-kira 2 jam

No	Jenis Lapis Pendung	Tebal (cm)
1	Beton vermi kulit dan dipasang pada cetakan sebelum beton dicor	2,5
2	Plesteran gips vermi kulit	2,2
3	Asbes dengan bahan perekat yang disemprotkan pada permukaan beton	1,9

Dengan adanya tambahan lapisan pelindung tersebut, maka jika terjadi kebakaran, maka tulangan beton akan terlindung dari suhu panas yang ada, namun untuk membuat lapisan pelindung tersebut, diperlukan biaya yang relatif mahal.

Dalam perencanaan struktur beton bertulang, beton diasumsikan tidak memiliki kekuatan tarik sehingga diperlukan material lain untuk menanggung gaya tarik yang bekerja. Material yang dilekatkan pada beton umumnya berbentuk batang dan disebut sebagai tulangan. Dalam perencanaan struktur beton bertulang mutu tulangan ditentukan oleh tegangan leleh. Untuk mengetahui tegangan leleh, maka baja tulangan ditarik dengan Mesin Uji Tarik Baja, sehingga nanti akan didapatkan tegangan leleh, tegangan maksimum dan regangannya.

Istilah tegangan leleh baja dipakai sebagai kata umum untuk titik leleh, yaitu titik penyimpangan dari keadaan elastis sempurna

yang dapat dilihat dengan jelas pada kebanyakan baja struktural atau sering disebut dengan kekuatan leleh. Secara eksplisit tegangan leleh baja biasanya didefinisikan sebagai tegangan pada regangan tetap 0,2 %, hal ini dikarenakan baja tidak menunjukkan titik leleh yang jelas (Charles G.Salmon dan John E.Johnson: 1997).

Baja yang digunakan sebagai tulangan memiliki karakteristik yang sangat bervariasi, mulai baja dengan karbon rendah (kandungan karbon kurang dari 0,15% berat baja), karbon lunak (0,15-0,29%), karbon sedang (0,30-0,59%), karbon tinggi (0,60-1,70%). Pada umumnya semakin tinggi kandungan karbon dalam baja maka akan semakin tinggi mutu baja namun juga berakibat baja menjadi lebih getas.

Baja yang dipanasi dengan suhu tertentu sampai 1650 ° F atau 900° C kemudian dicelupkan dalam air atau minyak akan akan menghasilkan martensit atau mikrostruktur yang sangat keras, kuat dan getas. Pemanasan kembali mengurangi sedikit kekuatan dan kekerasan tapi menaikkan keliatan dan daktilitasnya.

Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah eksperimen. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Fakultas Teknik UNY, Laboratorium Struktur dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Gajah Mada. Jumlah sampel sebanyak 15 buah, dengan perincian 3 buah

tulangan beton tanpa dibakar, 6 buah tulangan dibakar pada suhu 600 dan 900⁰ Celcius dengan tebal lindungan beton sebesar 2 cm serta 6 buah tulangan yang dibakar pada suhu 600 dan 900⁰ Celcius dengan tebal lindungan beton 4 cm. Waktu pembakaran pada suhu 600⁰ Celcius selama 1,5 jam dan pembakaran 900⁰ Celcius selama 2 jam. Bentuk konstruksi beton berupa balok, dengan ukuran 15x20 cm dengan panjang 45 cm. Tulangan yang digunakan adalah baja polos (tidak bersirip) berdiameter 10 mm dan begel diamter 6 mm sebagai bahan untuk merangkai tulangan. Analisis data menggunakan deskriptif kuantitatif dengan mencari harga reratanya.

Hasil dan Pembahasan

Beton yang sudah dibentuk dalam cetakan balok dengan ukuran (15x20x40) cm dirawat dan didiamkan selama 28 hari. Kemudian beton dibakar pada suhu 600 dan 900⁰ Celcius selama 1,5 jam dan 2 jam, kemudian langsung disiram dengan air. Beton dipecah dan diambil tulangnya. Hasil pengujian tulangan dengan tebal lindungan beton 2cm dan 4 cm dapat dilihat dalam tabel berikut ini.

**Tabel 2. Hasil Pengujian Tegangan Leleh Baja Tanpa Pembakaran
atau suhu ruang (SR):**

No Benda Uji	Tegangan leleh (MPa)	Rata-rata Tegangan Leleh (MPa)	Tegangan Max (MPa)	Tegangan Max Rata-rata (MPa)	Regangan (%)	Regangan Rata-rata
1	388,67	385,123	501,51	500,50	33,3	33,87
2	381,46		500,52		35,0	
3	385,24		499,48		33,3	
Jml	1155,37		1501,51		101,6	

**Tabel 3. Hasil Pengujian Tegangan Leleh Baja dengan Tebal
Lindungan Beton 2 cm dan Suhu Pembakaran 600°C.**

No Benda Uji	Tegangan leleh (MPa)	Rata-rata Tegangan Leleh (MPa)	Tegangan Max	Tegangan Max Rata-rata	Regangan (%)	Regangan Rata-rata
1	374,44	385,25	504,25	503,72	30,0	31,1
2	388,82		506,74		33,3	
3	392,48		500,17		30,0	
Jml	1155,74		1511,16		93,3	

**Tabel 4. Hasil Pengujian Tegangan Leleh Baja dengan Tebal
Lindungan beton 2 cm dan Suhu Pembakaran 900 ° Celcius**

No Benda Uji	Tegangan leleh (MPa)	Rata-rata Tegangan Leleh (MPa)	Tegangan Max	Tegangan Max Rata-rata	Regangan (%)	Regangan Rata-rata
1	374,11	374,97	476,80	480,23	33,3	33,87
2	366,87		480,89		33,3	
3	383,93		483,01		35,0	
Jml	1124,91		1440,7		101,6	

Tabel 5. Hasil Pengujian Tegangan Leleh Baja dengan Tebal
Lindungan beton 4 cm dan Suhu Pembakaran 600 ° Celcius

No Benda Uji	Tegangan leleh (MPa)	Rata-rata Tegangan Leleh (MPa)	Tegangan Max	Tegangan Max Rata-rata	Regangan (%)	Regangan Rata-rata
1	382,91	382,5	500,17	500,13	36,7	35,57
2	385,65		503,92		36,7	
3	378,94		496,29		33,3	
Jml	1147,5		1500,38		106,7	

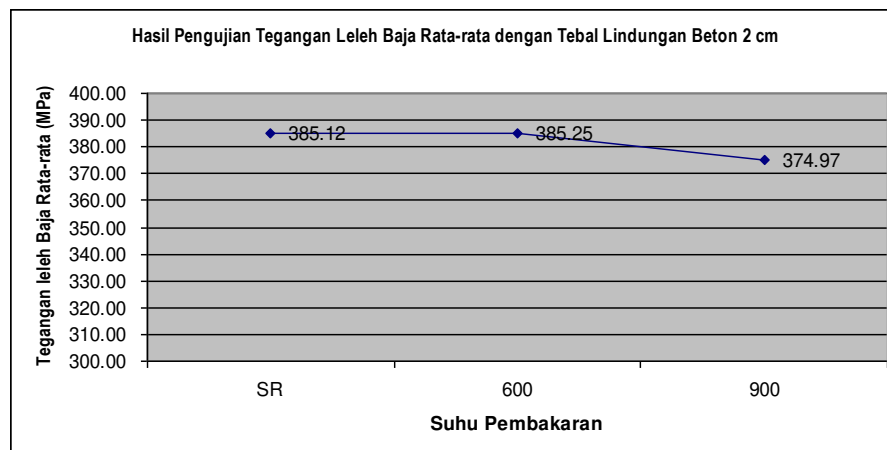
Tabel 6. Hasil Pengujian Tegangan Leleh Baja dengan Tebal
Lindungan beton 4 cm dan Suhu Pembakaran 900 ° Celcius

No Benda Uji	Tegangan leleh (MPa)	Rata-rata Tegangan Leleh (MPa)	Tegangan Max	Tegangan Max Rata-rata	Regangan (%)	Regangan Rata-rata
1	381,15	377,48	516,14	502,86	36,7	27,23
2	360,48		487,85		21,7	
3	390,82		504,60		23,3	
Jml	1132,45		1508,59		81,70	

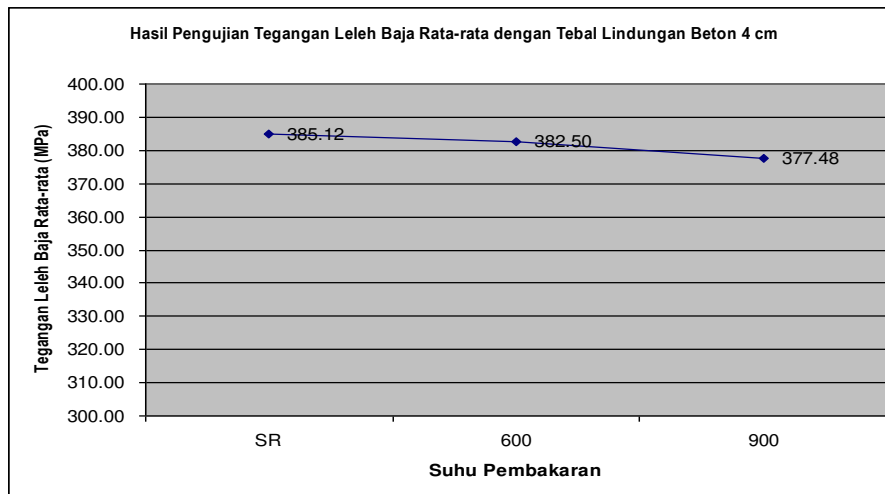
Berdasarkan hasil pengujian di atas, setelah dicari harga rata-rata dan persentase penurunan tegangan lelehnya dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 7. Hasil Rata-rata Pengujian Tegangan leleh Baja Berbagai Suhu Pembakaran

Suhu Pembakaran	Tebal Lindungan Beton 2 cm		Tebal Lindungan Beton 4 cm	
	Tegangan Leleh Baja Rata-rata (MPa)	Penurunan Tegangan Leleh terhadap Tegangan leleh pada Suhu Ruang (%)	Tegangan Leleh Baja Rata-rata (MPa)	Penurunan Tegangan leleh thd Tegangan leleh pada Suhu Ruang (%)
Suhu Ruang (Beton tidak dibakar)	385,12	0 %	385,12	0 %
Suhu 600 ° C	385,25	0 % (Relatif sama)	382,50	0,68%
Suhu 900 ° C	374,97	2,63%	377,48	1,98%



Grafik 1. Perubahan Hasil Pengujian Tegangan Leleh Baja pada Lindungan Beton 2 cm



Grafik 2. Perubahan Hasil Pengujian Tegangan Leleh Baja pada Lindungan Beton 4 cm

Berdasarkan hasil di atas diperoleh bahwa tegangan leleh rata-rata sebelum dilakukan pembakaran sebesar 385,25 MPa, setelah dilakukan pembakaran pada suhu 600 (tebal lindungan beton 2 cm) diperoleh tegangan leleh rata-ratanya sebesar 385,25 MPa. Tegangan leleh rata-rata sebelum dilakukan pembakaran dan setelah dilakukan pembakaran ternyata relatif sama. Sementara beton yang dibakar dengan suhu 900⁰ Celcius dengan pembakaran selama 120 menit atau 2 jam, tegangan yang diperoleh sebesar 374,97 MPa atau mengalami penurunan sebesar 2,63 % dari tegangan leleh tulangan sebelum dilakukan pembakaran.

Untuk beton bertulang dengan tebal lindungan 4 cm setelah dibakar pada suhu 600 dan 900⁰ Celcius, tegangan leleh rata-ratanya masing-masing sebesar 382,50 Mpa dan 377,48 Mpa atau dengan kata lain persentase penurunannya sebesar 0,68% dan 1,98%. Penurunan tegangan tersebut tidak terlalu besar karena masih kurang dari 5%.

Berdasarkan SII No 0136-80 tentang baja tulangan disebutkan bahwa, tegangan leleh minimum untuk tulangan polos kelas II (BJTP 24) sebesar 294 MPa. Berdasarkan SII No 0136-80 tersebut ternyata tegangan leleh tulangan sebelum dilakukan pembakaran dan setelah dilakukan pembakaran masih dalam satu kelas, yaitu Kelas II artinya dapat disimpulkan bahwa bangunan yang mempunyai konstruksi beton dengan tebal lindungan beton 2 cm, jika terjadi kebakaran sampai mencapai suhu 900⁰ Celcius dengan lama kebakaran selama 2 jam, maka tulangan di dalam beton kekuatannya /tegangan lelehnya masih memenuhi persyaratan. Hal ini juga dapat dilihat dari hasil regangan yang perubahannya tidak terlalu signifikan relatif sama.

Pada prinsipnya baja memiliki karakteristik yang sangat bervariasi, mulai baja dengan karbon rendah (kandungan karbon kurang dari 0,15% berat baja), karbon lunak (kandungan karbon 0,15% sampai 0,29%), karbon sedang (kandungan karbon 0,30%-0,59 %), dan karbon tinggi (kandungan karbon 0,60-1,70%) (Charles

G.Salmon: 1997). Untuk baja yang digunakan dalam struktur termasuk kategori yang lunak, yaitu berkisar antara 0,25 sampai 0,29%. pada baja tulangan yang baru, penambahan persentase karbon akan menaikkan tegangan lelehnya, tetapi akan mengurangi daktilitasnya sehingga baja tersebut akan semakin getas. Salah satu penyebab getasnya tulangan disebabkan karena pendinginan yang mendadak.

Pada hasil pengujian tersebut, ternyata beton setelah dipanaskan pada suhu 600 dan 900⁰ Celcius, terus didinginkan mendadak dengan disiram dengan air, tegangan lelehnya secara umum mengalami penurunan, walaupun ada yang mengalami kenaikan. Hal ini dikarenakan adanya lindungan beton yang kemungkinan tebal variasinya tidak sama, penyiraman air yang tidak merata, sehingga terjadi pendinginan yang tidak serentak, serta pemanasan baja tulangan yang tidak mencapai titik lelehnya. Pada prinsipnya baja yang dipanasi kemudian didinginkan secara mendadak, misalnya direndam dalam air, maka akan menghasilkan mikrostruktur yang sangat keras, kuat dan getas, pemanasan kembali pada baja tersebut, maka akan mengurangi kekuatan dan kekerasan tapi akan menaikkan keliatan dan daktilitas.

Simpulan

Berdasarkan kajian teori, analisi data dan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tegangan leleh tulangan sebelum dilakukan pembakaran sebesar 385,12 MPa
2. Beton bertulang yang dibakar pada suhu 600⁰ Celcius dengan tebal lindungan beton 2 cm, maka setelah dilakukan uji tarik tulangan akan diperoleh tegangan lelehnya sebesar 385,25 MPa, sedangkan untuk tebal lindungan beton sebesar 4 cm, dibakar pada suhu yang sama diperoleh tegangan lelehnya 382,50 MPa.
3. Beton bertulang yang dibakar pada suhu 900⁰ Celcius dengan tebal lindungan beton 2 cm, maka setelah dilakukan uji tarik tulangan akan diperoleh tegangan lelehnya sebesar 374,97 MPa, sedangkan untuk tebal lindungan beton sebesar 4 cm, dibakar pada suhu yang sama diperoleh tegangan lelehnya 377,48 MPa.
4. Secara umum beton yang dibakar sampai suhu 900⁰ Celcius dengan tebal lindungan beton minimal 2 cm, setelah dilakukan uji tarik tulangan, besarnya tegangan leleh tulangan beton masih memenuhi persyaratan, yaitu tegangan leleh tulangan sebelum dan setelah dibakar masih dalam satu kelas (menurut SII 0136-80). Penurunan tegangan leleh akibat pembakaran tersebut hanya sebesar 2,63%.

Daftar Pustaka

- Anonim. (1977). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Bandung: Direktorat Jendral Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional
- Bambang Suhendro. (2000). Analisis Degradasi Kekuatan Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran. *Makalah*. Yogyakarta : UGM.
- Charles G Salmon & John E. Johnson. (1997). *Struktur Baja Disain dan Perilaku*. Jakarta: Erlangga.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1990). *SNI 07-2052.1990. Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Yayasan LPMB
- Hansen, TC. (1976). *Text Book on Concrete Technology, Technical Report No.10 of UNDP/UNIDO, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Kardiyono Tjokrodimulyo. (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri.
- Kardiyono Tjokrodimulyo. (2000). Pengujian Laboratorium Beton Pasca Bakar. *Makalah*. Yogyakarta: UGM.
- Priyosulistyo, HRC. (2000). Sifat-sifat Mekanik Bahan Struktur terhadap Beban Gempa dan Temperatur Tinggi. *Makalah*. Yogyakarta: UGM
- Sumardi, SU. 2000. Aspek Kimia Beton Pasca Bakar. *Makalah*. Yogyakarta: UGM.